

PCT/JP 2004/017617

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

29.11.2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 3 年 1 1 月 2 6 日  
Date of Application:

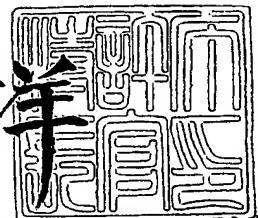
出 願 番 号            特 願 2 0 0 3 - 3 9 5 9 0 5  
Application Number:  
[ST. 10/C] :            [ J P 2 0 0 3 - 3 9 5 9 0 5 ]

出 願 人            河 村 能 人  
Applicant(s):

2 0 0 5 年   1 月 1 3 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川 洋



BEST AVAILABLE COPY

出証番号   出証特 2 0 0 4 - 3 1 2 2 0 9 9

【書類名】 特許願  
【整理番号】 KP3463  
【提出日】 平成15年11月26日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 C22C 23/04  
C22C 23/06  
【発明者】  
    【住所又は居所】 熊本県熊本市新南部 2 丁目 7 番 A - 3 0 2  
    【氏名】 河村 能人  
【特許出願人】  
    【識別番号】 502396281  
    【氏名又は名称】 河村 能人  
【代理人】  
    【識別番号】 100110858  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 柳瀬 睦肇  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100100413  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 渡部 温  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 085672  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成る高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 2】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成る高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 3】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc 及び Al からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 0 原子%超 2.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成り、且つ希土類元素の総含有量が 1.0 原子%超 4.0 原子%以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 4】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc 及び Al からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 0 原子%超 2.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成り、且つ希土類元素の総含有量が 1.0 原子%超 4.0 原子%以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 5】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に強加工を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 6】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金 casting 物を作り、前記マグネシウム合金 casting 物に強加工を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 7】**

請求項 5 又は 6 のいずれか一項において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率が 10% 以上である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 8】**

請求項 5 ～ 7 のいずれか一項において、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が 0.1  $\mu\text{m}$  以上 100  $\mu\text{m}$  以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 9】**

請求項 5 ～ 8 のいずれか一項において、前記強加工物のビッカース硬度が 60 Hv 以上 160 Hv 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 10】**

請求項 5 ～ 9 のいずれか一項において、前記強加工物の降伏強度が 250 MPa 以上である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 11】**

請求項5～10のいずれか一項において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引拔加工のうちの少なくとも一つを行うものである高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項12】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項13】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項14】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項15】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項16】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項17】

Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1μm以上100μm以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 18】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$ 以上 100  $\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 19】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$ 以上 100  $\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 20】**

請求項 12～19 のいずれか一項において、前記押出し物、前記圧延物、前記強加工物又は前記引抜加工物のビッカース硬度が 60 Hv 以上 160 Hv 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 21】**

請求項 12～19 のいずれか一項において、前記押出し物、前記圧延物、前記強加工物又は前記引抜加工物は、降伏強度が 250 MPa 以上である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 22】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 23】**

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 24】**

請求項 22 又は 23 において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率が 10%以上である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 25】**

請求項 22～24 のいずれか一項において、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が 0.1  $\mu\text{m}$ 以上 100  $\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 26】**

請求項 22～25 のいずれか一項において、前記強加工物のビッカース硬度が 60 Hv 以上 160 Hv 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 27】**

請求項 22～26 のいずれか一項において、前記強加工物の降伏強度が 250 MPa 以上である高強度高靱性マグネシウム合金。

**【請求項 28】**

請求項 22～27 のいずれか一項において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE 及び

引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものである高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 29】

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$ 以上 100  $\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 30】

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$ 以上 100  $\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 31】

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$ 以上 100  $\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 32】

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$ 以上 100  $\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 33】

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に ECAE を行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$ 以上 100  $\mu\text{m}$ 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 34】

Zn を 0.1 原子%以上 2.5 原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子%以上 3.5 原子%以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物

に E C A E を行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$  以上 100  $\mu\text{m}$  以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 35】

Zn を 0.1 原子% 以上 2.5 原子% 以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子% 以上 3.5 原子% 以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$  以上 100  $\mu\text{m}$  以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 36】

Zn を 0.1 原子% 以上 2.5 原子% 以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子% 以上 3.5 原子% 以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は 10% 以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は 0.1  $\mu\text{m}$  以上 100  $\mu\text{m}$  以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 37】

請求項 29～36 のいずれか一項において、前記押出し物、前記圧延物、前記強加工物又は前記引抜加工物のビッカース硬度が 60 Hv 以上 160 Hv 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 38】

請求項 29～37 のいずれか一項において、前記押出し物、前記圧延物、前記強加工物又は前記引抜加工物は、降伏強度が 250 MPa 以上である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 39】

請求項 5～38 のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鑄造物は、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc 及び Al からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 0 原子% 超 2.5 原子% 以下含有し、且つ希土類元素の総含有量が 1.0 原子% 超 4.0 原子% 以下である高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 40】

請求項 5～11 のいずれか一項において、前記強加工を行う前の前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を形成する高強度高靱性マグネシウム合金。

【請求項 41】

Zn を 0.1 原子% 以上 2.5 原子% 以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素を合計で 1.0 原子% 以上 3.5 原子% 以下含有し、残部が Mg から成るマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行って強加工物を作る工程と、

を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 42】

Zn を 0.1 原子% 以上 2.5 原子% 以下含有し、Tb、Dy、Ho 及び Er からなる群から選択される少なくとも 1 種の元素と Y を合計で 1.0 原子% 以上 3.5 原子% 以下含

有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、  
前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行って強加工物を作る工程と、  
を具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 43】

請求項 41 又は 42 において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE 及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものである高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 44】

請求項 41 又は 42 において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って強加工物を作る工程であり、押出し温度が150℃以上500℃以下、押出しによる断面減少率が50%以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 45】

請求項 41 又は 42 において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って強加工物を作る工程であり、圧延温度が150℃以上500℃以下、圧下率が25%以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 46】

請求項 41 又は 42 において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行って強加工物を作る工程であり、前記ECAEを行う際の温度が150℃以上500℃以下、ECAEのパス回数が1パス以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 47】

請求項 41 又は 42 において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作る工程であり、前記引抜加工を行う際の温度が150℃以上500℃以下、前記引抜加工の断面減少率が25%以上である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 48】

請求項 41～47 のいずれか一項において、前記強加工物を作る工程の後に、前記強加工物に熱処理を行う工程をさらに具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 49】

請求項 48 において、前記強加工物に熱処理を行う際の熱処理温度は180℃以上400℃以下であり、熱処理時間は1分以上1500分以下である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 50】

請求項 41～49 のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鑄造物は、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc 及びAl からなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。

【請求項 51】

請求項 41～50 のいずれか一項において、前記マグネシウム合金鑄造物を作る工程と前記強加工物を作る工程との間に、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を形成する工程をさらに具備する高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法。



## 【書類名】明細書

【発明の名称】高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法に関し、より詳細には特定の希土類元素を特定割合で含有することにより高強度高靱性を達成した高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

マグネシウム合金は、そのリサイクル性とあいまって、携帯電話やノート型パソコンの筐体あるいは自動車用部品として急速に普及し始めている。

これらの用途に使用するためにはマグネシウム合金に高強度と高靱性が要求される。高強度高靱性マグネシウム合金の製造のために従来から材料面及び製法面から種々検討されている。

製法面では、ナノ結晶化の促進のために、急冷凝固粉末冶金（R S - P / M）法が開発され、鑄造材の約 2 倍の 400 MPa 程度の強度のマグネシウム合金が得られるようになった。

## 【0003】

マグネシウム合金として、Mg - Al 系、Mg - Al - Zn 系、Mg - Th - Zn 系、Mg - Th - Zn - Zr 系、Mg - Zn - Zr 系、Mg - Zn - Zr - RE（希土類元素）系等の成分系の合金が知られている。これらの組成を有するマグネシウム合金を鑄造法で製造しても十分な強度が得られない。前記組成を有するマグネシウム合金を前記 R S - P / M 法で製造すると鑄造法で製造する場合より高強度にはなるが依然として強度が不十分であったり、強度が十分でも靱性（延性）が不十分で、高強度及び高靱性を要求される用途には使用し難いという欠点があった。

これらの高強度及び高靱性を有するマグネシウム合金として、Mg - Zn - RE（希土類元素）系合金が提案されている（例えば特許文献 1、2 及び 3）。

## 【0004】

【特許文献 1】特許 3238516 号公報（図 1）

【特許文献 2】特許 2807374 号公報

【特許文献 3】特開 2002-256370 号公報（特許請求の範囲、実施例）

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

しかしながら、従来の Mg - Zn - RE 系合金では、例えばアモルファス状の合金材料を熱処理し、微細結晶化して高強度のマグネシウム合金を得ている。そして前記アモルファス状の合金材料を得るためには相当量の亜鉛と希土類元素が必要であるという先入観があり、亜鉛と希土類元素を比較的多量に含有するマグネシウム合金が使用されている。

## 【0006】

特許文献 1 及び 2 では高強度及び高靱性が得られたと記載されているが、実際に強度及び靱性ともに実用に供するレベルに達している合金は殆ど無い。更に現在ではマグネシウム合金の用途が拡大して、従来の強度及び靱性では不十分で、より以上の強度及び靱性を有するマグネシウム合金が要請されている。

## 【0007】

本発明は上記のような事情を考慮してなされたものであり、その目的は、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにある高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することにある。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0008】

上記課題を解決するため、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Zn を 0.

1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成る。

【0009】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成る。

【0010】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高靱性マグネシウム合金は、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにあるものである。

【0011】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、残部がMgから成り、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である。

尚、Mm（ミッシュメタル）とは、Ce及びLaを主成分とする複数の希土類元素の混合物又は合金であり、鉱石から有用な希土類元素であるSmやNdなどを精錬除去した後の残渣であり、その組成は精錬前の鉱石の組成に依存する。

【0012】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、残部がMgから成り、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である。

【0013】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高靱性マグネシウム合金によれば、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量を1.0原子%超4.0原子%以下とすることにより、高強度高靱性を維持したまま、他の性質を改善することができる。

【0014】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0015】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0016】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高靱性マグネシウム合金は、マグネシウム合金の

拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにあるものである。

【0017】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上が好ましく、より好ましくは15%以上である。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

【0018】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記強加工物のビッカース硬度が60 Hv以上160 Hv以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記強加工物の降伏強度が250 MPa以上であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。

【0019】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

【0020】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

【0021】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

【0022】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）

) であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は  $0.1\ \mu\text{m}$  以上  $100\ \mu\text{m}$  以下である。

。

#### 【0023】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は  $0.1\ \mu\text{m}$  以上  $100\ \mu\text{m}$  以下である。

。

#### 【0024】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は  $0.1\ \mu\text{m}$  以上  $100\ \mu\text{m}$  以下である。

。

#### 【0025】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は  $0.1\ \mu\text{m}$  以上  $100\ \mu\text{m}$  以下である。

#### 【0026】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は  $0.1\ \mu\text{m}$  以上  $100\ \mu\text{m}$  以下である。

#### 【0027】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記押出し物、前記圧延物又は前記強加工物のビッカース硬度が60HV以上160HV以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記押出し物、前記圧延物又は前記強加工物は、降伏強度が250MPa以上であることが好ましい。

#### 【0028】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行って強加工物を作り、前

記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0029】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有する。

【0030】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上が好ましく、より好ましくは15%以上である。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径が0.1 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下であることが好ましい。

【0031】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記強加工物のビッカース硬度が60HV以上160HV以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記強加工物の降伏強度が250MPa以上であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。

【0032】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下である。

【0033】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って押出し物を作り、前記押出し物に熱処理を行った後の押出し物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1 $\mu$ m以上100 $\mu$ m以下である。

【0034】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

#### 【0035】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って圧延物を作り、前記圧延物に熱処理を行った後の圧延物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

#### 【0036】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

#### 【0037】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行って強加工物を作り、前記強加工物に熱処理を行った後の強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

#### 【0038】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

#### 【0039】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

ム合金鑄造物を作り、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作り、前記引抜加工物に熱処理を行った後の引抜加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、

前記長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上であり、

前記長周期積層構造の結晶組織の平均結晶粒径は0.1  $\mu\text{m}$ 以上100  $\mu\text{m}$ 以下である。

#### 【0040】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記押出し物、前記圧延物又は前記強加工物のビッカース硬度が60 Hv以上160 Hv以下であることが好ましい。

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記押出し物、前記圧延物又は前記強加工物は、降伏強度が250 MPa以上であることが好ましい。

#### 【0041】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記マグネシウム合金鑄造物は、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下であることも可能である。

#### 【0042】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金においては、前記強加工を行う前の前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を形成することも可能である。

#### 【0043】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行って強加工物を作る工程と、  
を具備する。

#### 【0044】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素とYを合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るマグネシウム合金鑄造物を作る工程と、

前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行って強加工物を作る工程と、  
を具備する。

#### 【0045】

上記の本発明に係るそれぞれの高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法によれば、マグネシウム合金鑄造物に強加工を行うことにより、強加工後の強加工物の硬さ及び降伏強度を強加工前の鑄造物に比べて向上させることができる。

#### 【0046】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工は、圧延、押出し、ECAE及び引抜加工のうちの少なくとも一つを行うものであることも可能である。

#### 【0047】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に押出しを行って強加工物を作る工程であり、押出し温度が150℃以上500℃以下、押出しによる断面減少率が50%以上であることも可能である。

#### 【0048】



また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に圧延を行って強加工物を作る工程であり、圧延温度が150℃以上500℃以下、圧下率が25%以上であることも可能である。

【0049】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物にECAEを行って強加工物を作る工程であり、前記ECAEを行う際の温度が150℃以上500℃以下、ECAEのパス回数が1パス以上であることも可能である。

【0050】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工を行って強加工物を作る工程は、前記マグネシウム合金鑄造物に引抜加工を行って引抜加工物を作る工程であり、前記引抜加工を行う際の温度が150℃以上500℃以下、前記引抜加工の断面減少率が25%以上であることも可能である。

【0051】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法においては、前記強加工物を作る工程の後に、前記強加工物に熱処理を行う工程をさらに具備することも可能である。これにより、熱処理後の強加工物の硬さ及び降伏強度を熱処理前に比べてさらに向上させることができる。

【0052】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記強加工物に熱処理を行う際の熱処理温度は180℃以上400℃以下であり、熱処理時間は1分以上1500分以下であることが好ましい。

【0053】

本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法において、前記マグネシウム合金鑄造物は、La、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で0原子%超2.5原子%以下含有し、且つ希土類元素の総含有量が1.0原子%超4.0原子%以下である。

【0054】

また、本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金の製造方法においては、前記マグネシウム合金鑄造物を作る工程と前記強加工物を作る工程との間に、前記マグネシウム合金鑄造物を切削することによってチップ形状の鑄造物を形成する工程をさらに具備することも可能である。

【発明の効果】

【0055】

以上説明したように本発明によれば、マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにある高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することができる。

【発明を実施するための形態】

【0056】

以下、本発明の実施の形態について説明する。

本発明者は、基本に立ち返り、2元マグネシウム合金から始めて合金の強度及び靱性を検討し、更にその検討を多元マグネシウム合金まで拡大した。その結果、強度及び靱性とも高いレベルで有するマグネシウム合金はMg-Zn-RE（希土類元素）系であり、希土類元素がY、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素であるマグネシウム合金であり、更に従来技術とは異なり亜鉛の含有量が2.5原子%以下で希土類元素の含有量が3.5原子%以下という低含有量において従来にない高強度及び高靱性が得られることを見出した。

【0057】



長周期積層構造が形成される鑄造合金は、強加工後あるいは強加工後に熱処理を施すことによって、高強度・高延性・高靱性のマグネシウム合金が得られることが分かった。また、長周期積層構造が形成されて、強加工後あるいは強加工熱処理後に高強度・高延性・高靱性が得られる合金組成を見出した。

#### 【0058】

##### (実施の形態1)

本発明の実施の形態1によるマグネシウム合金は、基本的にMg、Zn及び希土類元素から成る3元又は4元以上の合金であり、希土類元素は、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される1又は2以上の元素である。

#### 【0059】

本実施の形態では亜鉛の含有量を0.1原子%以上2.5原子%以下とし、1又は2以上の希土類元素の含有量を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下とする。亜鉛の含有量が2.5原子%以上であると、特に靱性（又は延性）が低下する傾向があるからである。また1又は2以上の希土類元素の含有量が合計で3.5原子%以上であると、特に靱性（又は延性）が低下する傾向があるからである。

#### 【0060】

また亜鉛の含有量が0.1原子%未満、又は希土類元素の含有量が合計で1.0原子%未満であると強度及び靱性の少なくともいずれかが不十分になる。従って、亜鉛の含有量の下限を0.1原子%、より好ましくは0.5原子%とし、希土類元素の合計含有量の下限を1.0原子%とする。

#### 【0061】

強度及び靱性の増大は亜鉛が0.5～1.5原子%において顕著になる。亜鉛含有量が0.5原子%付近において希土類元素含有量が少なくなると強度が低下する傾向があるが、その範囲の場合でも従来よりも高強度及び高靱性を示す。従って、本実施の形態のマグネシウム合金における亜鉛の含有量の範囲は最も広くて0.1原子%以上2.5原子%以下である。

#### 【0062】

本実施の形態のMg-Zn-RE系マグネシウム合金では、前述した範囲の含有量を有する亜鉛と希土類元素以外の成分がマグネシウムとなるが、合金特性に影響を与えない程度の不純物を含有しても良い。

#### 【0063】

##### (実施の形態2)

本発明の実施の形態2によるマグネシウム合金としては、Mg-Zn-RE系以外にMg-Zn-RE-Me系マグネシウム合金が挙げられる。但し、MeはLa、Ce、Mm、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tm、Ca、Si、Mn、Zr、Ti、Hf、Nb、Ag、Sr、Sc及びAlからなる群から選択される少なくとも1種の元素である。このMeの含有量は0原子%超2.5原子%以下とする。但し、希土類元素の総含有量は1.0原子%超4.0原子%以下とする。Meを添加すると、高強度高靱性を維持したまま、他の性質を改善することができる。尚、Mm（ミッシュメタル）とは、Ce及びLaを主成分とする複数の希土類元素の混合物又は合金であり、鉱石から有用な希土類元素であるSmやNdなどを精錬除去した後の残渣であり、その組成は精錬前の鉱石の組成に依存するものである。

#### 【0064】

##### (実施の形態3)

本発明の実施の形態3によるマグネシウム合金の製造方法について説明する。

実施の形態1又は2の組成からなるマグネシウム合金を溶解して鑄造し、マグネシウム合金鑄造物を作る。鑄造時の冷却速度は0.1～1000K/秒であり、より好ましくは1～100K/秒である。このマグネシウム合金鑄造物としては、インゴットから所定形状に切り出したものを用いても良いし、マグネシウム合金鑄造物を切削することによって作られた複数の約1mm角のチップ形状鑄造物を用いても良い。チップ形状の鑄造物は例

例えばチクソーモールドの原料に一般的に用いられている。

【0065】

次に、前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行う。この強加工の方法としては、例えば押出し、E C A E (equal-channel-angular-extrusion) 加工法、圧延及び引拔を用いる。

押出しによる強加工を行う場合は、押出し温度を150℃以上500℃以下とし、押出しによる断面減少率を50%以上とすることが好ましい。

【0066】

E C A E 加工法は、試料に均一なひずみを導入するためにパス毎に試料長手方向を90°ずつ回転させる方法である。具体的には、断面形状がL字状の成形孔を形成した成形用ダイの前記成形孔に、成形用材料であるマグネシウム合金鑄造物を強制的に進入させて、特にL状成形孔の90°に曲げられた部分で前記マグネシウム合金鑄造物に応力を加えて強度及び靱性が優れた成形体を得る方法である。E C A E のパス回数としては1~8パスが好ましい。E C A E の加工時の温度は150℃以上500℃以下が好ましい。

【0067】

圧延による強加工を行う場合は、圧延温度を150℃以上500℃以下とし、圧下率を25%以上とすることが好ましい。

【0068】

引拔加工による強加工を行う場合は、引拔加工を行う際の温度が150℃以上500℃以下、前記引拔加工の断面減少率が25%以上であることが好ましい。

【0069】

上記のようにマグネシウム合金鑄造物に強加工を行った強加工物は、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、この長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）となり、前記長周期積層構造の平均結晶粒径は0.1 μm以上100 μm以下である。また、前記強加工物のビッカース硬度は60 H v以上160 H v以下であり、前記強加工物の降伏強度（引張試験による降伏応力）は250 MPa以上である。

【0070】

前記マグネシウム合金鑄造物に強加工を行った後の強加工物に熱処理を行う。この熱処理条件は、温度が180℃以上400℃以下、熱処理時間が1分以上1500分（約245時間）以下である。この熱処理を行った後の強加工物については、熱処理を行う前の強加工物に比べてビッカース硬度及び降伏強度がともに上昇する。また、熱処理後の強加工物にも熱処理前と同様に、常温において長周期積層構造の結晶組織を有し、この長周期積層構造を持つ結晶粒の体積分率は10%以上（より好ましくは15%以上）となり、前記長周期積層構造の平均結晶粒径は0.1 μm以上100 μm以下である。

【0071】

上記実施の形態1~3によれば、マグネシウム合金の拡大した用途、例えば強度及び靱性共に高性能が要求されるハイテク用合金としての用途に対して、強度及び靱性ともに実用に供するレベルにある高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法を提供することができる。

【実施例】

【0072】

以下、実施例について説明する。

実施例1では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Yの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0073】

実施例2では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Dyの3元系マグネシウム合金を用いる。

実施例3では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Hfの3元系マグネシウム合金を用いる。

実施例4では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Erの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0074】

実施例5では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1原子%Y-1.5原子%Dyの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例6では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1原子%Y-1.5原子%Gdの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例7では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1原子%Y-1.5原子%Erの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例5及び7それぞれのマグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素を複合的に添加したものである。また、実施例6マグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素と長周期積層構造を形成しない希土類元素とを複合的に添加したものである。

【0075】

実施例8では、97.5原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Y-0.5原子%Laの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例9では、97.5原子%Mg-0.5原子%Zn-1.5原子%Y-0.5原子%Ybの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例8及び9それぞれのマグネシウム合金は、長周期積層構造を形成する希土類元素と長周期積層構造を形成しない希土類元素とを複合的に添加したものである。

【0076】

実施例10では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1.5原子%Y-1原子%Dyの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例11では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1.5原子%Y-1原子%Gdの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例12では、96.5原子%Mg-1原子%Zn-1.5原子%Y-1原子%Erの4元系マグネシウム合金を用いる。

実施例13では、96原子%Mg-1原子%Zn-3原子%Yの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0077】

比較例1では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Laの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例2では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Ybの3元系マグネシウム合金を用いる。

【0078】

比較例3では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Ceの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例4では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Prの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例5では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Ndの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例6では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Smの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例7では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Euの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例8では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Gdの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例9では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Tmの3元系マグネシウム合金を用いる。

比較例10では、97原子%Mg-1原子%Zn-2原子%Luの3元系マグネシウム

合金を用いる。

【0079】

参考例としては、98原子%Mg-2原子%Yの2元系マグネシウム合金を用いる。

【0080】

( casting material の組織観察 )

まず、Arガス雰囲気中で高周波溶解によって実施例1~13、比較例1~10及び参考例それぞれの組成のインゴットを作製し、これらのインゴットから $\phi 10 \times 60$  mmの形状に切り出す。この切り出した casting material の組織観察をSEM、XRDによって行った。これらの結晶組織の写真を図1~図7に示す。

【0081】

図1には、実施例1及び比較例1、2それぞれの結晶組織の写像が示されている。図2には、実施例2~4の結晶組織の写像が示されている。図3には、実施例5~7の結晶組織の写像が示されている。図4には、実施例8、9の結晶組織の写像が示されている。図5には、実施例10~12の結晶組織の写像が示されている。図6には、比較例3~10の結晶組織の写像が示されている。図7には、参考例の結晶組織の写像が示されている。

【0082】

図1~図5に示すように、実施例1~12のマグネシウム合金には長周期積層構造の結晶組織が形成されている。また、実施例13のマグネシウム合金においても長周期積層構造の結晶組織が形成される(図示せず)。これに対し、図1、図6及び図7に示すように、比較例1~10及び参考例それぞれのマグネシウム合金は長周期積層構造の結晶組織が形成されていない。

【0083】

実施例1~12及び比較例1~10それぞれの結晶組織から以下のことが確認された。

Mg-Zn-RE 3元系 casting material では、REがY、Tb、Dy、Ho、Erの場合に長周期積層構造が形成されるのに対し、REがLa、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Ybの場合は長周期積層構造が形成されない。Gdは、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Ybと少し挙動が異なっており、Gdの単独添加(Znは必須)では長周期積層構造は形成されないが、長周期積層構造を形成する元素であるY、Tb、Dy、Ho、Erとの複合添加では2.5原子%でも長周期積層構造が形成される(実施例6、11参照)。

また、La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu、Gd、Yb、Tmは、Mg-Zn-RE (RE=Y、Tb、Dy、Ho、Er) に添加する場合には、1原子%以下なら、長周期積層構造の形成を妨げない。

【0084】

比較例1の casting material の結晶粒径は10~30  $\mu$  m程度であり、比較例2の casting material の結晶粒径は30~100  $\mu$  m程度であり、実施例1の casting material の結晶粒径は20~60  $\mu$  mであり、いずれも粒界に多量の晶出物が観察された。また、比較例2の casting material の結晶組織では粒内に微細な析出物が存在していた。

【0085】

( casting material のビッカース硬度試験 )

実施例1、比較例1及び比較例2それぞれの casting material をビッカース硬度試験により評価した。比較例1の casting material のビッカース硬度は75 Hvであり、比較例2の casting material のビッカース硬度は69 Hvであり、実施例1の casting material のビッカース硬度は79 Hvであった。

【0086】

( ECAE加工 )

上記の実施例1及び比較例1、2それぞれの casting material に400℃でECAE加工を施した。ECAE加工法は、試料に均一なひずみを導入するためにパス毎に試料長手方向を90度ずつ回転させる方法を用いて、パス回数を4回及び8回で行った。この際の加工速度は2 mm/秒の一定である。

【0087】

**(E C A E 加工材のビッカース硬度試験)**

E C A E 加工を施した試料をビッカース硬度試験により評価した。4 回の E C A E 加工後の試料のビッカース硬度は、比較例 1 の試料が 82 H v、比較例 2 の試料が 76 H v、実施例 1 の試料が 96 H v であり、E C A E 加工前の鑄造材と比較して 10~20% の硬さの向上が見られた。8 回の E C A E 加工をした試料では、4 回の E C A E 加工をした試料とほとんど硬さに変化はなかった。

**【0088】****(E C A E 加工材の結晶組織)**

E C A E 加工を施した試料の組織観察を S E M、X R D によって行った。比較例 1、2 の加工材では粒界に存在していた晶出物が数  $\mu$  m オーダーに分断され、微細に均一分散しているのに対し、実施例 1 の加工材では晶出物は微細に分断されることなく、マトリックスと整合性を保ったまま剪断を受けているのが確認された。8 回の E C A E 加工をした試料では、4 回の E C A E 加工をした試料とほとんど組織に変化はなかった。

**【0089】****(E C A E 加工材の引張試験)**

E C A E 加工を施した試料を引張試験により評価した。引張試験は、押出し方向に対して平行に所期ひずみ速度  $5 \times 10^{-4}$  /秒の条件で行った。4 回の E C A E 加工をした試料の引張特性については、比較例 1、2 の試料では 200 MP a 以下の降伏応力と 2~3% の伸びしか示さないのに対し、実施例 1 の試料では 260 MP a の降伏応力と 15% の伸びを示した。これは、鑄造材の特性が 0.2% 耐力 100 MP a、伸び 4% であるのを遥かに凌駕する特性であった。

**【0090】****(E C A E 加工材の熱処理)**

4 回の E C A E 加工を施した試料を 225℃ で等温保持し、保持時間と硬度変化の関係を調査した。実施例 1 の試料では、225℃ の熱処理を施すことで硬さがさらに向上し、引張試験による降伏応力は 300 MP a まで向上できることがわかった。

**【0091】**

また、実施例 1 の鑄造材を 375℃ まで E C A E の加工温度を下げると（即ち実施例 1 の鑄造材を 400℃ ではなく 375℃ で 4 回の E C A E 加工を施すと）、実施例 1 の E C A E 加工材の降伏応力は 300 MP a と 12% の伸びを示した。そして、この E C A E 加工を施した試料に 225℃ の熱処理を施すことにより、引張試験による降伏応力は 320 MP a まで向上できることが確認された。

**【0092】****(実施例 13 の鑄造合金の押出し)**

実施例 13 の鑄造合金は、長周期積層構造を持つ 96 原子% M g - 1 原子% Z n - 3 原子% Y の 3 元系マグネシウム合金である。この鑄造合金を、温度が 300℃、断面減少率が 90%、押出し速度 2.5 mm/秒の条件で押出し加工した。この押出し後のマグネシウム合金は、室温において 420 MP a の引張降伏強度と 2% の伸びを示した。

**【0093】**

尚、本発明は上述した実施の形態及び実施例に限定されるものではなく、本発明の主旨を逸脱しない範囲内で種々変更して実施することが可能である。

**【図面の簡単な説明】****【0094】**

【図 1】 実施例 1、比較例 1 及び比較例 2 それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図 2】 実施例 2~4 それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図 3】 実施例 5~7 それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

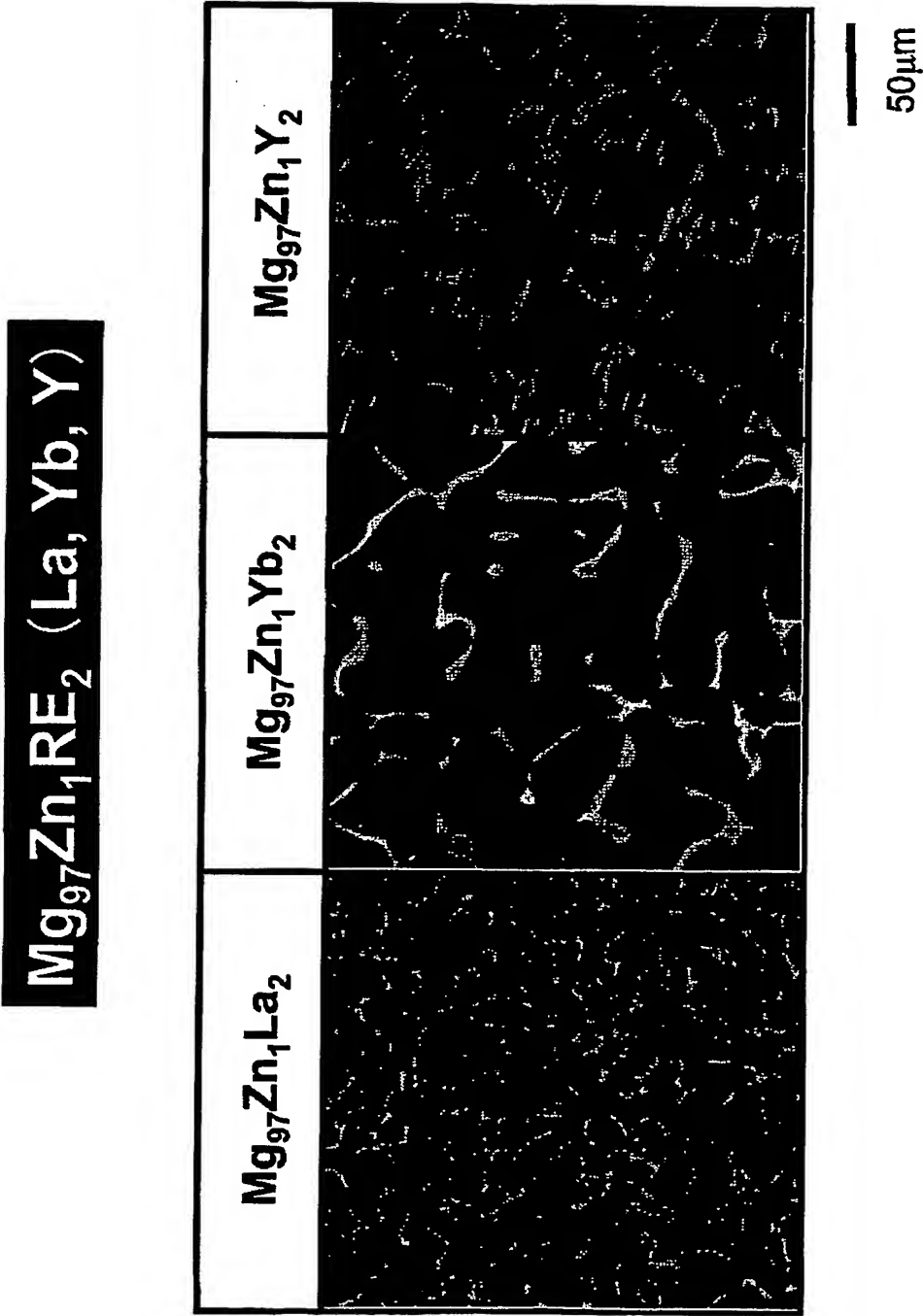
【図 4】 実施例 8 及び 9 それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図 5】 実施例 10~12 それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

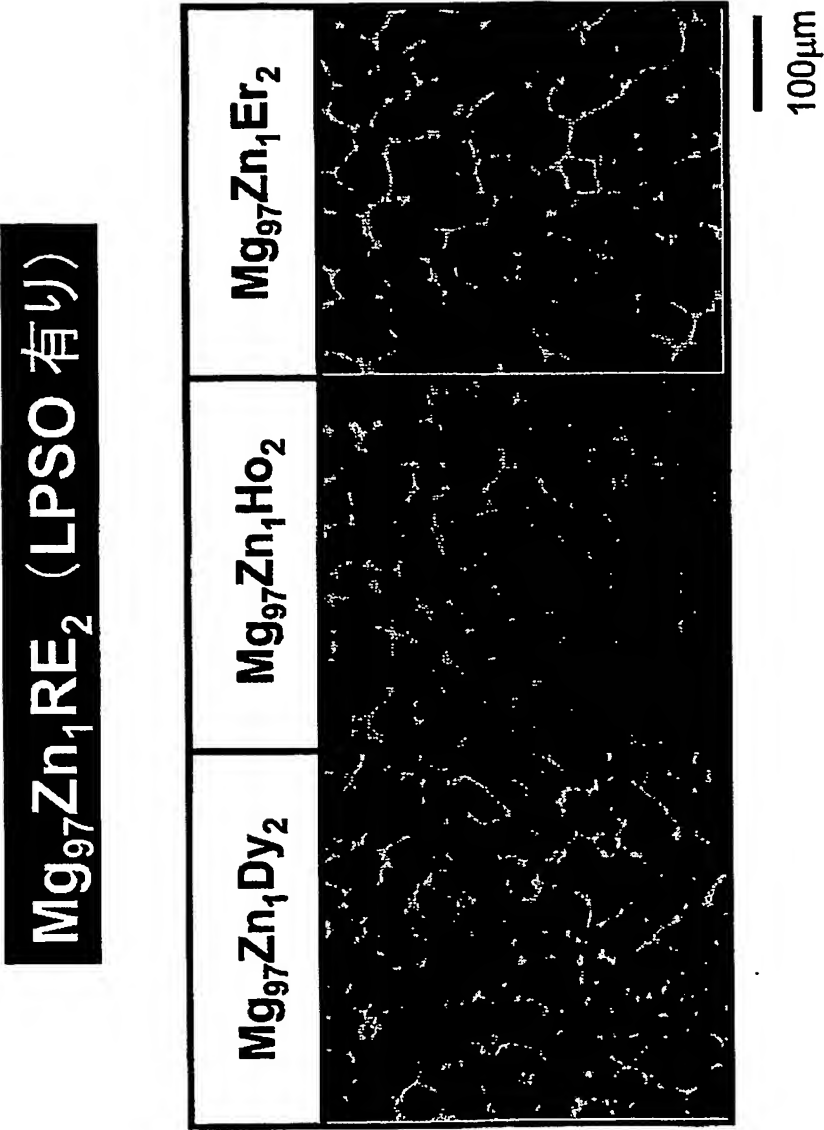
【図 6】 比較例 3~10 それぞれの鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【図 7】 参考例の鑄造材の結晶組織を示す写真である。

【書類名】 図面  
【図 1】

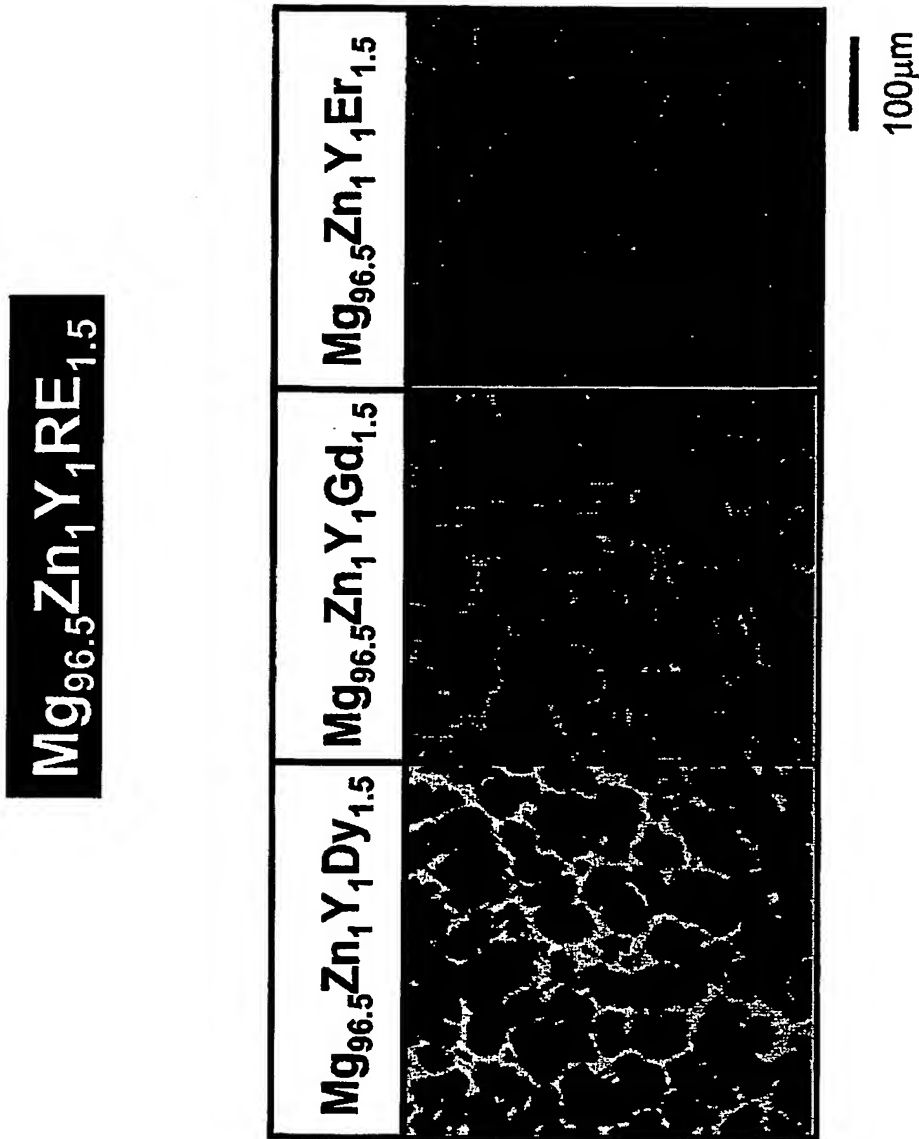


【図 2】

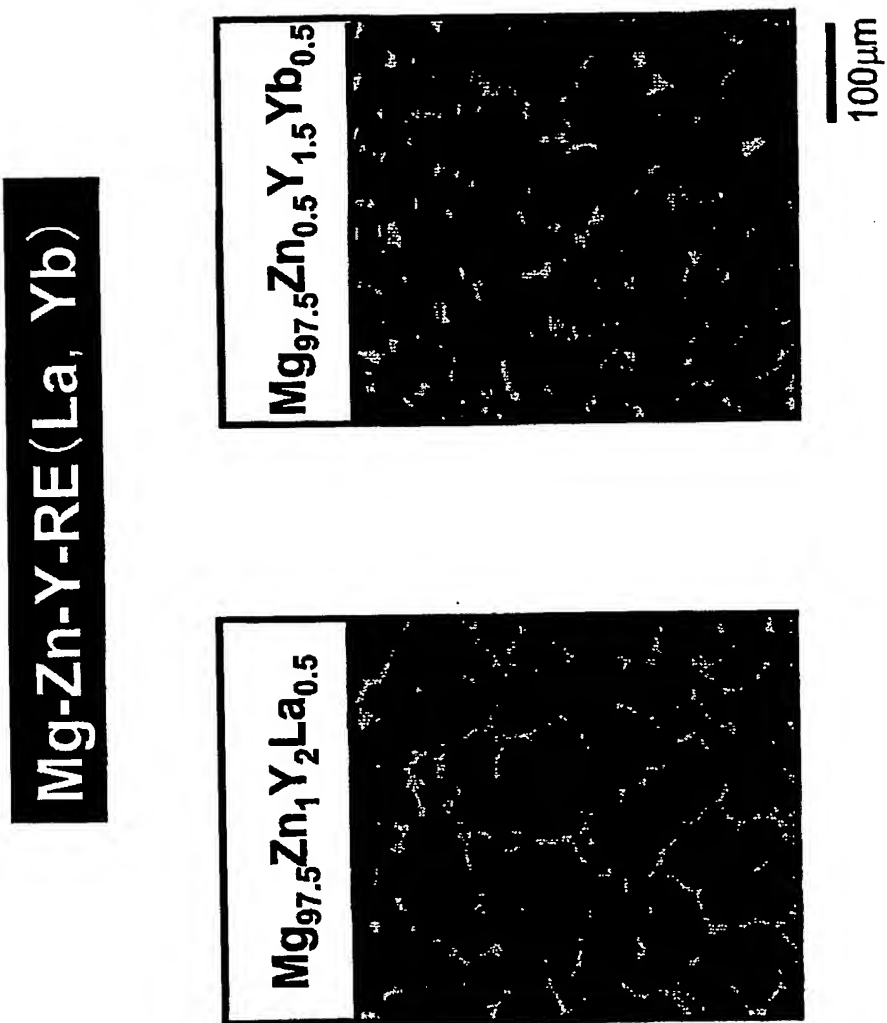




【図 3】

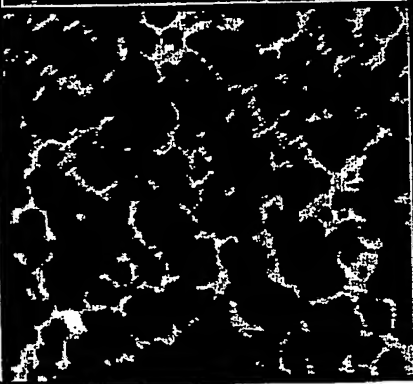
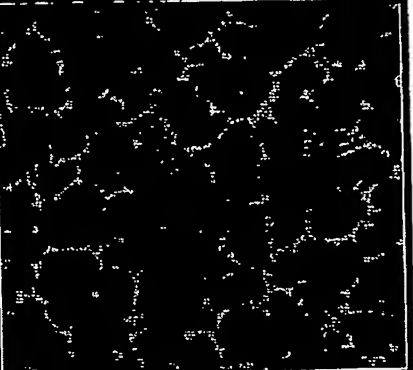



【図 4】

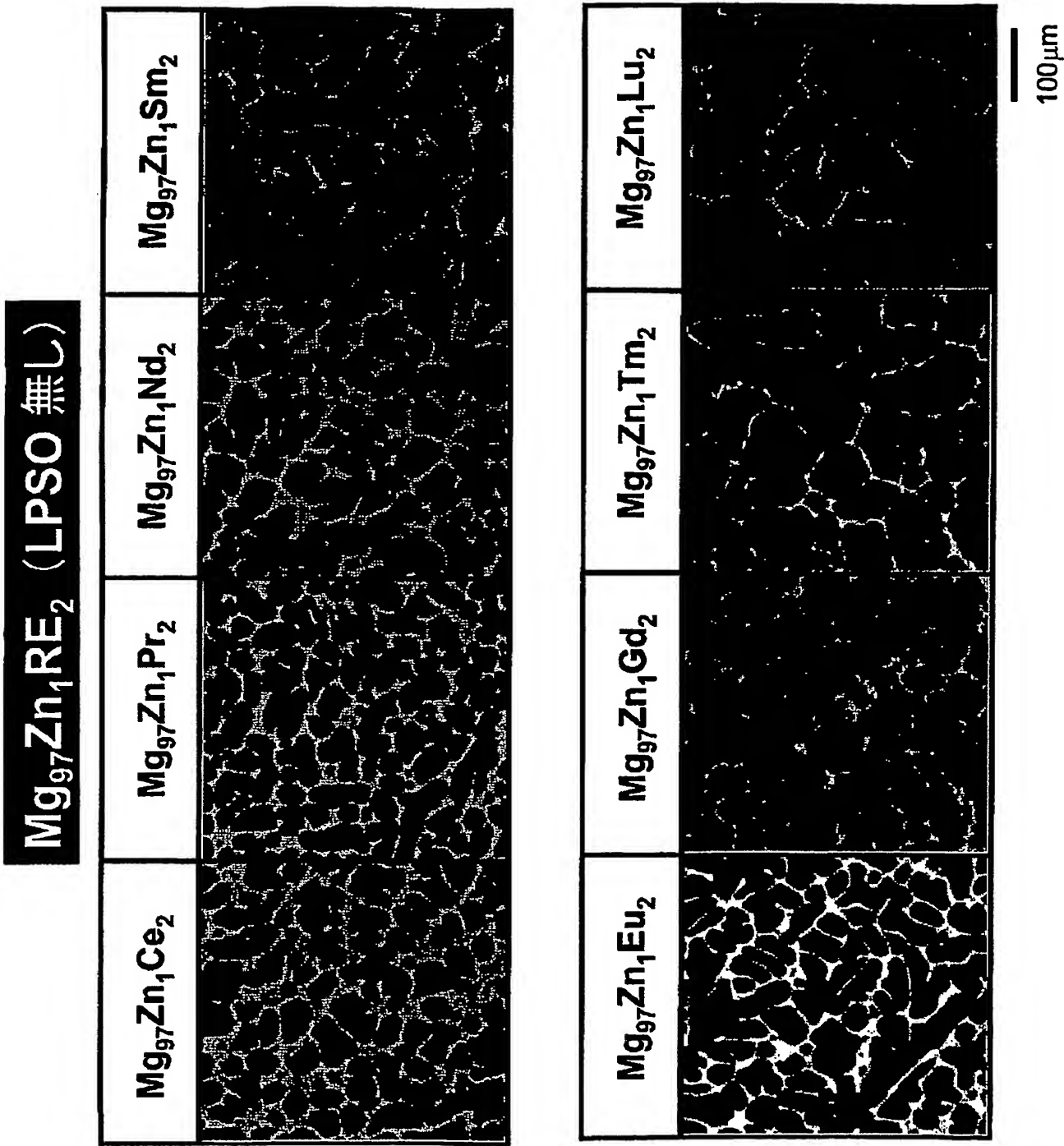


【図 5】

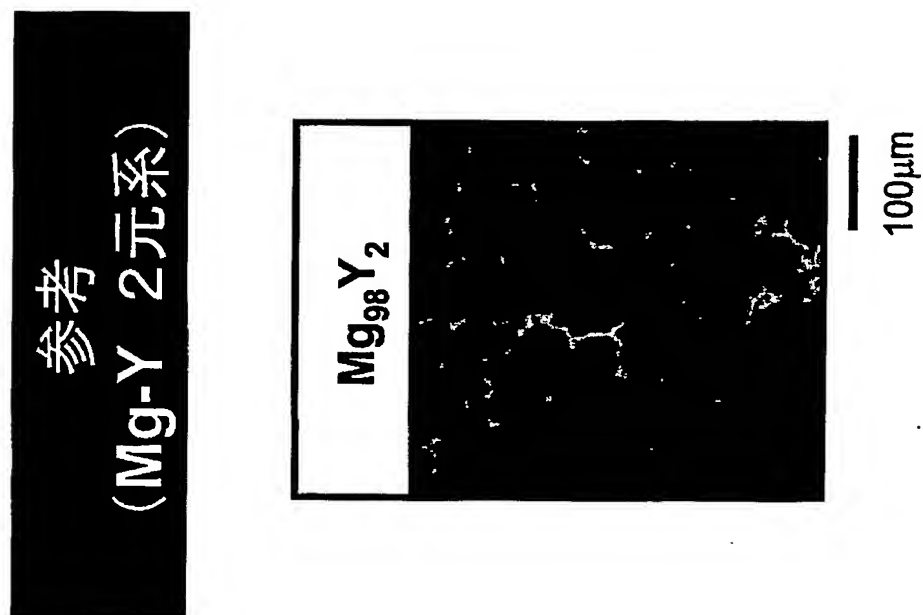


$\text{Mg}_{96.5}\text{Zn}_1\text{Y}_{1.5}\text{Dy}_1$	$\text{Mg}_{96.5}\text{Zn}_1\text{Y}_{1.5}\text{Gd}_1$	$\text{Mg}_{96.5}\text{Zn}_1\text{Y}_{1.5}\text{Er}_1$
		

【図 6】



【図 7】



【書類名】要約書

【要約】

【課題】 マグネシウム合金の拡大した用途に対して強度及び靱性ともに実用に供するレベルにある高強度高靱性マグネシウム合金及びその製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明に係る高強度高靱性マグネシウム合金は、Znを0.1原子%以上2.5原子%以下含有し、Y、Tb、Dy、Ho及びErからなる群から選択される少なくとも1種の元素を合計で1.0原子%以上3.5原子%以下含有し、残部がMgから成るものである。

【選択図】 なし

特願 2003-395905

出願人履歴情報

識別番号

[502396281]

1. 変更年月日

2002年10月31日

[変更理由]

新規登録

住所

熊本県熊本市新南部2丁目7番A-302

氏名

河村 能人

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP04/017617

International filing date: 26 November 2004 (26.11.2004)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2003-395905  
Filing date: 26 November 2003 (26.11.2003)

Date of receipt at the International Bureau: 27 January 2005 (27.01.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☒ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**